



Une méthode Semi-déterministe pour Modéliser les Évanouissements Rapides de Signaux Satellites en Environnements Urbains et Suburbains

Xiang Li, Rodolphe Vauzelle, Yannis Pousset, François Martinez

► To cite this version:

Xiang Li, Rodolphe Vauzelle, Yannis Pousset, François Martinez. Une méthode Semi-déterministe pour Modéliser les Évanouissements Rapides de Signaux Satellites en Environnements Urbains et Suburbains. JNM (Journées Nationales Microondes) 2009, Grenoble (France), May 2009, Grenoble, France. hal-00574474

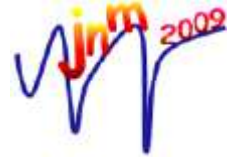
HAL Id: hal-00574474

<https://hal.science/hal-00574474>

Submitted on 8 Mar 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Une méthode semi-déterministe pour modéliser les évanouissements rapides de signaux satellites en environnements urbains et suburbains

Xiang LI¹, Rodolphe VAUZELLE¹, Yannis POUSSET¹, François MARTINEZ²

¹Université de Poitiers, laboratoire XLIM-SIC, UMR CNRS 6172.

Bât. SP2MI - Téléport 2 - Boulevard Marie et Pierre Curie - BP 30179 - 86962 Futuroscope Chasseneuil Cedex

²Ergospace - 3, Chemin du Pigeonnier de la Cépière - 31100 Toulouse

xiang.li@sic.univ-poitiers.fr : correspondant principal

Résumé

Les communications satellites en milieux urbains se font principalement par des liaisons radios pour lesquelles les ondes électromagnétiques interagissent avec l'environnement, induisant ainsi un phénomène de multitrajets et donc des évanouissements rapides. Afin de modéliser les fluctuations rapides des signaux satellites reçus en tenant compte des spécificités du site de réception, cet article propose une nouvelle approche. Elle permet de définir le paramètre principal de la loi de Nakagami- m en fonction de la caractéristique majeure des multitrajets à savoir les interactions électromagnétiques (réflexions, diffractions). Le logiciel Ergospace basé sur un tracé de rayons sert de support à cette étude.

1. Introduction

Une communication entre un satellite et un récepteur en milieu urbain peut subir des effets de masquages dus à la présence d'éléments bloquant la visibilité et des effets multitrajets dus aux différents types d'interactions électromagnétiques (réflexions et diffractions principalement). Ainsi, en un point de réception, deux types d'évanouissement peuvent exister : évanouissements lents dû aux masquages et évanouissements rapides dû aux multitrajets [1]. Comme le montre Figure 1, autour de l'évolution de la moyenne locale du signal (en ligne rouge pointillée), c'est-à-dire les évanouissements lents, il existe des fluctuations rapides (en gris). Cet article se focalise sur les évanouissements rapides.

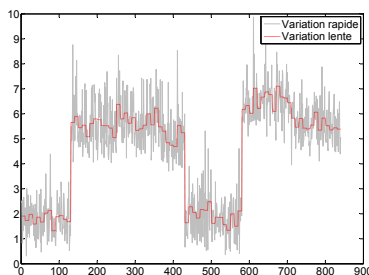


Figure 1. Exemple de signal et des deux types d'évanouissements associés

Plusieurs lois statistiques peuvent être utilisées pour modéliser les évanouissements rapides, parmi lesquelles celle de Nakagami- m [2] dont son paramètre m a été particulièrement étudié ces dernières années [3]. La densité de probabilité de la loi Nakagami- m s'écrit (Eq. 1) :

$$p(R) = \frac{2m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m)\Omega^m} e^{-(m/\Omega)R^2}, \quad m \geq \frac{1}{2}, R \geq 0 \quad (1)$$

avec $\Omega = E\{R^2\} = \overline{R^2}$ et m le paramètre lié au degré d'évanouissement [4] :

$$m = \frac{E^2\{R^2\}}{\text{Var}\{R^2\}} = \frac{(\overline{R^2})^2}{(\overline{R^2} - \overline{R^2}^2)} \geq \frac{1}{2} \quad (2)$$

avec $E\{\cdot\}$ l'espérance mathématique et $\text{Var}\{\cdot\}$ la variance.

Ce modèle donne généralement un bon accord avec des données mesurées. Toutefois, la difficulté réside dans l'estimation de m dans des environnements nouveaux. Des travaux ont été réalisés dans cet objectif qui seront présentés dans la section 2.

L'apport de cet article consiste à proposer une approche semi-déterministe établissant un lien direct entre le phénomène de multitrajets et le paramètre m (section 2). Des résultats sont présentés et commentés dans la section 3 s'appuyant sur des simulations produites par *Ergospace* [5], logiciel de simulation validé expérimentalement en collaboration avec le CNES [6].

2. Principe de la méthode proposée

Les évanouissements rapides d'un signal peuvent se modéliser par la loi statistique de Nakagami- m . Il est alors nécessaire de connaître m . Son estimation s'appuie souvent sur des signaux mesurés, rendant difficile son utilisation à de nouveaux environnements. Par exemple, Rubio *et al* [7] ont réalisé des campagnes de mesure et estimé l'évolution de m pour plusieurs zones situées dans la ville de Valence. Ce travail montre que, dans un environnement de propagation et pour un parcours donné, il peut exister différents types d'évanouissements rapides.

Dans cet article, nous faisons l'hypothèse que m est directement lié aux interactions «onde-milieu de

propagation» qui sont à l'origine des multitrajets et donc des évanouissements rapides. Décrivons maintenant le principe : grâce au logiciel *Ergospace*, il est possible de connaître par exemple le nombre d'interactions «onde-milieu» associées à chaque trajet reçu. Une combinaison d'interactions (CI) est notée $pRqD$, avec p et q le nombre de réflexions et de diffractions, respectivement. Il faut signaler que dans le cas d'une liaison satellite, le nombre significatif de réflexions et de diffractions est généralement considéré égal à 2 et 1, respectivement ; les interactions supplémentaires n'ayant plus d'impact significatif sur le signal reçu. Ainsi, en un point d'un parcours suivi par un récepteur mobile, on pourra utiliser une expression telle que "0R0D+1R0D+2R1D" pour indiquer que 3 types de trajets ont été reçus. On associe ensuite une valeur numérique à chaque trajet. L'expression se transforme ainsi en une somme (notée Σ_{CI}) qui représente la nature de l'ensemble des multitrajets. Pour cela, on choisit comme valeurs des puissances de 2 (Tableau 1) afin que chaque Σ_{CI} corresponde à une expression unique et qu'un trajet plus énergétique que les autres ait une valeur associée plus grande. Toutes les combinaisons possibles de ces

CI	OR0D	1R0D	2R0D	1R1D	2R1D	OR1D
Valeur	32	16	8	4	2	1

Tableau 1. Valeurs associées aux combinaisons d'interactions

6 valeurs font un ensemble d'entiers compris entre 1 et 63. Par exemple, pour l'expression, "0R0D+1R0D+2R1D", la Σ_{CI} associée vaut 50 et ce uniquement pour cette expression. Notons que "0R0D" (32) correspondant au trajet direct, toutes les sommes des CI supérieures à 32 indiquent une réception en visibilité directe.

Ainsi, nous associons, à un signal donné, l'évolution de Σ_{CI} comme l'illustre la figure 2. Il devient donc possible de produire un signal représentant l'évolution de Σ_{CI} le long du parcours sur lequel l'atténuation ou la puissance reçue a été simulée.

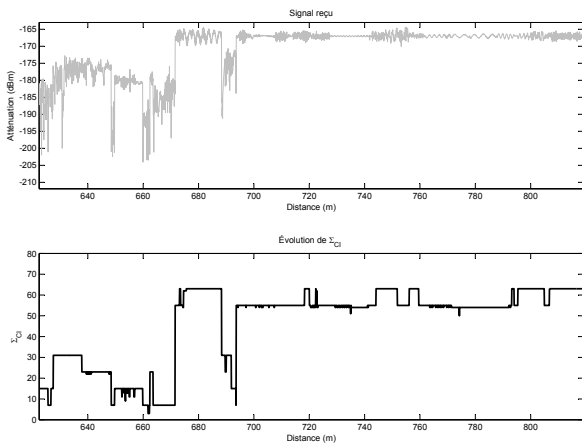


Figure 2. L'évolution de l'atténuation du signal reçu et de Σ_{CI}

Ensuite, en s'appuyant sur les points où la valeur de Σ_{CI} change, nous pouvons segmenter le signal et repérer les frontières des zones ayant des comportements rapides différents, se traduisant alors par des valeurs différentes de m . Figure 3 montre un exemple schématique où le parcours est segmenté en 4 intervalles de 3 couleurs différentes, chacune correspondant à un m différent, c'est-à-dire que le premier et le dernier intervalle ont un même m , associé à une configuration locale de bâtiments similaire.

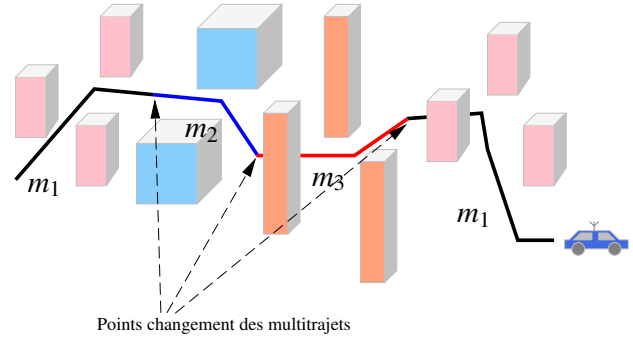


Figure 3. Résultat schématique montrant 3 types d'évanouissements rapides caractérisés par m_i

Une fois le signal reçu segmenté, nous appliquons, pour chaque intervalle, la méthode de Greenwood-Durand [8] pour estimer m : le moment d'ordre 2 d'une variable aléatoire est noté

$$\hat{\mu}_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 \quad (3)$$

et la moyenne géométrique des échantillons est définie par

$$G = \left(\prod_{i=1}^N x_i \right)^{1/N} \quad (4)$$

Nous pouvons noter $y = \ln(\hat{\mu}_2/G)$ et le paramètre de Nakagami est estimé comme

$$\hat{m} = \begin{cases} \frac{0.50 + 0.16y - 0.05y^2}{y}, & 0 < y \leq 0.58 \\ \frac{8.90 + 9.06y + 0.98y^2}{y(17.80 + 11.97y + y^2)}, & 0.58 < y < 17 \end{cases} \quad (5)$$

3. Mise en œuvre et résultats

La mise en œuvre de la méthode proposée s'appuie sur le logiciel *Ergospace*. Quatre environnements issus de l'agglomération de Toulouse ont été étudiés : 2 en urbain dense : «centre» (Figure 4) et «capitole» (Figure 6) et 2 en suburbain : «résidentiel» (Figure 5) et «arènes» (Figure 7). À savoir que les couleurs dans ces environnements 3D réalistes correspondent aux différentes parties de construction, e.g., les toits sont en rouge, les façades en béton sont en blanc, les parcours du récepteur sont en lignes jaunes, etc. Les caractéristiques de ces environnements sont données dans Tableau 2. Le récepteur se déplace dans ces milieux avec une vitesse de 10 km/h. Un satellite géostationnaire à la fréquence de 1500 MHz est considéré avec un

angle R.A.A.N (*Right Ascension of the Ascending Node*) variant pour notre étude de 30° à 70° par pas de 10° , puis de 300° à 360° par pas de 10° , c'est-à-dire que 12 simulations sont ainsi obtenues pour le même parcours dans chacun des environnements. Cela représente en moyenne un nombre total de 240000 échantillons pour chaque environnement. Notons que le pas d'échantillonnage a été fixé à 0.382λ afin d'assurer la décorrélation entre deux échantillons successifs [9].



Figure 4. Environnement 3D de Toulouse centre et parcours simulé d'une longueur de 1.8 km



Figure 5. Environnement 3D de Toulouse résidentiel et parcours simulé d'une longueur de 1.1 km



Figure 6. Environnement 3D de Toulouse capitole et parcours simulé d'une longueur de 2 km

Pour chaque simulation, le logiciel *Ergospace* produit un fichier dont nous extrayons l'évolution des Σ_{CI} sur le parcours comme l'illustre la Figure 2. Ensuite, nous segmentons le signal selon les points où la valeur de Σ_{CI} change. Dans chaque intervalle segmenté, la technique de fenêtre glissante [9] est utilisée pour séparer les évanouissements lents. Une taille de fenêtre fixée à 48λ (125



Figure 7. Environnement 3D de Toulouse arènes et parcours simulé d'une longueur de 2.1 km

Environnement	Taille (m)	\bar{h} (m)	\bar{d} (m)
Toulouse Centre	300×300	18	4
Toulouse Résidentiel	390×270	14	5
Toulouse Capitole	1280×640	16	3
Toulouse Arènes	1750×1200	23	12

Tableau 2. Caractéristiques des environnements de Toulouse

\bar{h} : hauteur moyenne des bâtiments

\bar{d} : largeur moyenne des rues

échantillons) a été considérée, soit 125 échantillons. La moyenne locale du signal (*c.f.* Figure 1) est ainsi calculée puis soustraite au signal initial (exprimé en dB). Ainsi, nous pouvons faire l'estimation statistique du paramètre m dans chaque intervalle avec la méthode de Greenwood-Durand. De cette façon, le m estimé est associé à une valeur de Σ_{CI} . Tous ces couples sont alors analysés pour vérifier la validité de notre hypothèse, à savoir : il existe un lien entre la nature des multitrajets et le paramètre m caractérisant les évanouissements rapides.

Sur la base de cette étude statistique, Tableau 3 montre les valeurs moyennes de m associées à chaque Σ_{CI} par environnement.

Avant d'en faire une analyse précise, il est nécessaire de préciser certains éléments globaux. Tout d'abord, nous avons séparé les cas NLOS et LOS parce qu'ils représentent deux configurations différentes de réception et donc a priori deux comportements d'évanouissements rapides différents.

Ensuite, il apparaît que les valeurs possibles de Σ_{CI} varient en fonction d'environnement. Par exemple, pour Toulouse centre, Σ_{CI} est égal à 4, 7, 15 et 31 en NLOS alors que pour Toulouse résidentiel, nous trouvons plutôt 7, 15, 23 et 31. Cela s'explique par le fait qu'en fonction de l'environnement, toutes les combinaisons de multitrajets (Σ_{CI} allant de 1 à 63) n'apparaissent pas forcément. En outre, il faut signaler que nous n'avons considéré que des intervalles de signaux suffisamment grands (au moins une fenêtre de 125 échantillons) afin de garantir une estimation correcte de m par intervalle [10]. De plus, pour que les valeurs moyennes de m du Tableau 3 aient un sens, nous n'avons considéré que des valeurs de Σ_{CI} ayant une occur-

Toulouse centre				Toulouse résidentiel			
NLOS		LOS		NLOS		LOS	
Σ_{CI}	\bar{m}	Σ_{CI}	\bar{m}	Σ_{CI}	\bar{m}	Σ_{CI}	\bar{m}
4	0.54	54	0.75	7	0.67	39	0.81
7	0.62	55	0.76	15	0.64	55	0.80
15	0.64	62	0.71	23	0.80	63	0.78
31	0.60	63	0.73	31	0.73		

Toulouse capitole				Toulouse arènes			
NLOS		LOS		NLOS		LOS	
Σ_{CI}	\bar{m}	Σ_{CI}	\bar{m}	Σ_{CI}	\bar{m}	Σ_{CI}	\bar{m}
7	0.66	39	0.89	6	0.68	38	1.11
15	0.65	55	0.79	7	0.74	39	0.77
23	0.67	63	0.72	15	0.61	54	0.80
31	0.70			23	0.67	55	0.82
				31	0.64	63	0.79

Tableau 3. Caractéristiques de m en fonction de Σ_{CI} en LOS et NLOS pour différents environnements à Toulouse

rence supérieure ou égale à 5.

En analysant maintenant le lien entre Σ_{CI} et les m moyens, dans le cas où il existe le même Σ_{CI} pour les quatre environnements, on observe que m varie (e.g., pour $\Sigma_{CI} = 7$) : m est égal à 0,62 (centre), 0,67 (résidentiel), 0,66 (capitole) et 0,74 (arènes). On peut ainsi en déduire que la correspondance “ Σ_{CI} – nature des multitrajets” varie en fonction du milieu de propagation. Cela est satisfaisant car des configurations locales différentes de bâtiments vont induire des multitrajets qui pourront se différencier en terme de temps de propagation et de nombres de trajets par exemple, sans pour autant être différents en terme de nature d’interactions. En outre, afin d’extraire des comportements plus généraux, nous avons choisi de mettre en évidence le lien qui existe entre les configurations LOS et NLOS et les valeurs moyennes de m associées. Dans ce but, nous avons établi le Tableau 4. Nous observons qu’il existe une constante quelque soit les environnements : les valeurs de m sont toujours inférieures en LOS (0,65 environ contre 0,80 en NLOS). Cela s’explique par le fait qu’en LOS les évanouissements rapides sont moins profonds qu’en NLOS, car le trajet direct est très prédominant. Par contre, il apparaît des valeurs différentes selon l’environnement ce qui permet d’établir une correspondance entre m et un environnement. Cela peut être directement exploitables dans des contextes applicatifs.

Environnement	Valeur moyenne de m	
	NLOS	LOS
Toulouse Centre	0.60	0.74
Toulouse Résidentiel	0.71	0.80
Toulouse Capitole	0.67	0.80
Toulouse Arènes	0.66	0.86

Tableau 4. m moyen selon la visibilité pour différents environnements à Toulouse

4. Conclusion

Cet article montre une nouvelle approche semi-déterministe pour étudier les évanouissements rapides du signal lors de communications satellites en environnements urbains et suburbains. Les tests sont réalisés à l’aide du logiciel *Ergospace* en considérant des satellites géostationnaires. Le principe consiste à établir un lien entre le paramètre m et la nature des multitrajets, plus précisément les interactions «onde–milieu de propagation». La connaissance des comportements rapides du signal étant importante pour l’évaluation des performance d’un système de communication, les résultats de cet article contribuent notamment à déterminer les services disponibles et la précision de localisation en fonction des propriétés du lien radio. La suite immédiate de ce travail consiste à mettre en place une base de données, après une étude approfondie, dans laquelle les valeurs de m seront stockées en particulier en fonction du type d’environnement. Ces valeurs seront ensuite directement choisies par exemple pour un nouvel environnement qui ressemble à l’existant pour prédire les évanouissements rapides.

Bibliographie

- [1] B. R. Elbert, *The Satellite Communication Applications Handbook*, 2nd ed. Artech House, Inc., 2004.
- [2] M. Nakagami, “The m -distribution. A general formula of intensity distribution of rapid fading,” in *Statistical Methods in Radio Wave Propagation*, W. Hoffman, Ed. Pergamon, Oxford., 1960, pp. 3–36.
- [3] Q. Zhang, “A note on the estimation of nakagami- m fading parameter,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 6, no. 6, pp. 237–238, 2002.
- [4] N. Beaulieu and C. Cheng, “Efficient Nakagami- m fading channel simulation,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 54, no. 2, pp. 413–424, March 2005.
- [5] *Ergospace Technical Manual*, 12th ed., August 2007.
- [6] M. Jeannot, M. Boschetti, B. Godefroy, S. Leroy, and F. Martinez, “Study of GNSS reception in mountainous area and benefits of surface correlation,” in *European Navigation Conference - Global Satellite Navigation System (GNSS)*, Munich, Germany, July 2005.
- [7] L. Rubio, J. Reig, and N. Cardona, “Evaluation of Nakagami fading behaviour based on measurements in urban scenarios,” *Int. J. Electron. Commun. (AEÜ)*, vol. 61, pp. 135–138, February 2007.
- [8] J. A. Greenwood and D. Durand, “Aids for fitting the gamma distribution by maximum-likelihood,” *Technometrics*, vol. 2, pp. 55–65, 1960.
- [9] J. D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, 2nd ed. John Wiley & Sons Ltd., 2000.
- [10] C. Pereira, G. Coq, X. Li, Y. Pousset, C. Olivier, O. Alata, R. Vauzelle, and P. Combeau, “Application of information criteria for the selection of the statistical fast fading model of the radio mobile channel,” *International Journal of Electronics and Communications (AEÜE)*, 2009.